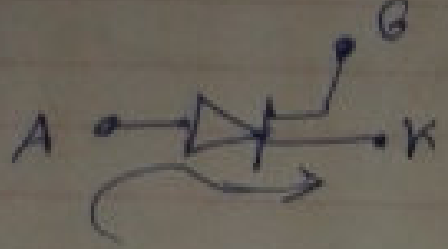
4 Layer Diods



الغرض للتحكم بالعبور

Silicon

germanium

nav Layer for Control

II - VI
III - V

① SCR → Silicon Control rectifier
Control موائع motor مثل يتحكم في الأجهزة ذات القدرات العالية

② LED → Light emitting Diode

③ IR Diode يستخدم في التحكم مثل الريموت الأشعة تحت الحمراء

④ Avalanch Diode في الديتيكت

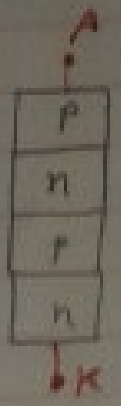
⑤ LASER

4-Layer Devices

Thyristor und other devices

2 transistor pnp, npn

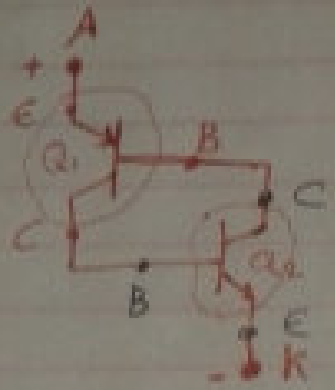
3 Dioden pn, np, pn

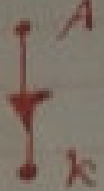


Thyristor, Schottky Diode, 4 layer device

$I_{E_1} = I_{C_1} + I_{B_1}$

$I_{E_1} = I_{C_1} + I_{C_2}$



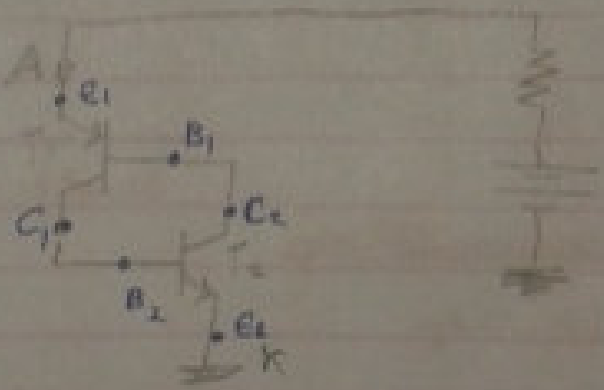


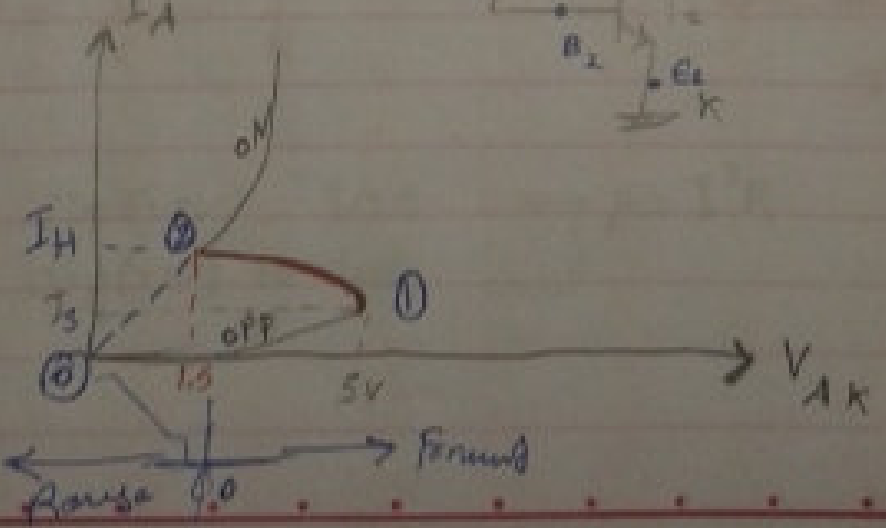
$I_{C_2} = I_{B_1}$

$I_A = I_{C1}$

$I_{C_1} = I_{B2}$

$I_{E2} = I_K$





0 ⇒ 1 (V_{BR}) (Forward Break over)

Break over

I_S → Switching current

1 ⇒ 2 V_{BR} ↓ I_H → Holding current

I_S → (off → on)

I_H → (on → off)

off Region

V_{BR} ↑ I_S

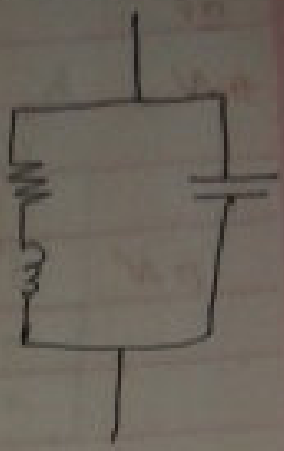
on Region

V_{BR} ↓ I_H

Slop (-ve) = $\frac{I}{V} = \frac{1}{R}$ (Curve) بالنسبة للدوائر الأسطر منه

Slop (+ve) lost ← $P = I^2R$

Slop (+ve) no lost



Oscelator ⟶ -ov Resistor

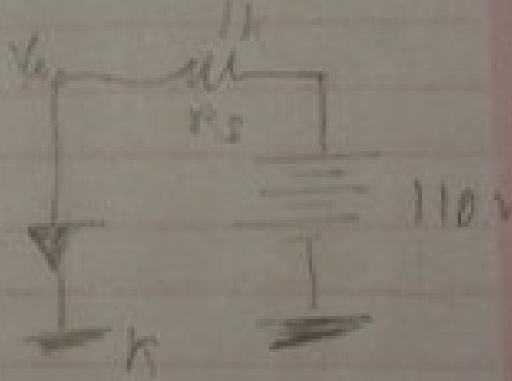
$I_H > I_S$

$R_{AK} = \frac{V_{AK}}{I_A} = \frac{10V}{10mA} = 1\,M\Omega$

Transistor OFF

$V_A = V_{BE} + V_{CE} \simeq 0.8\ V_{AK}$

1	2
2	1



$V_{RS} = 110 - V_A = \checkmark$

$I_{RS} = \frac{V_{RS}}{R_S} = \checkmark$

Relaxation oscillator

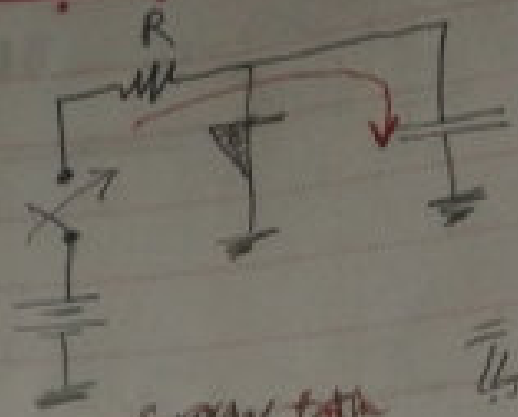
OFF — 1- المكثف يشحن

ON — 2- V_{BR}

3- المكثف يصرف

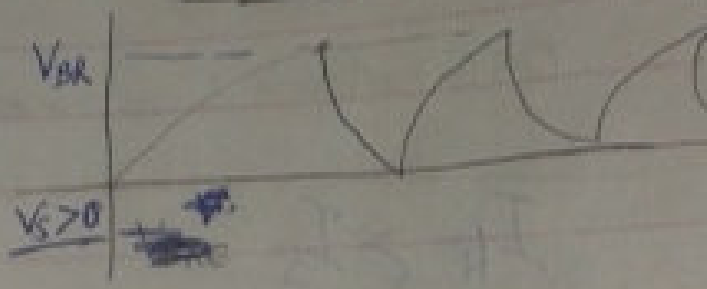
OFF — 4-

ON — 5- V_{BR}



تموجاً

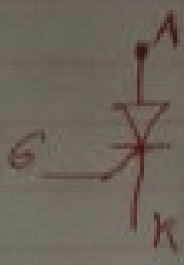
Saw tooth

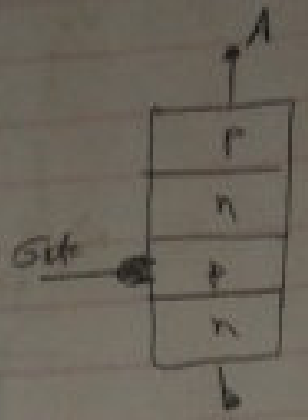


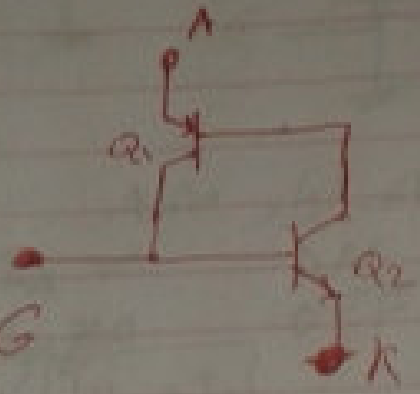
أحد التطبيقات لهذا النوع:

مولد موجات سن المنشار

SCR Silicon control rectifier







① $I_G = 0$ $Q_2 \rightarrow$ off

② $I_G > 0$ $Q_2 \rightarrow$ on

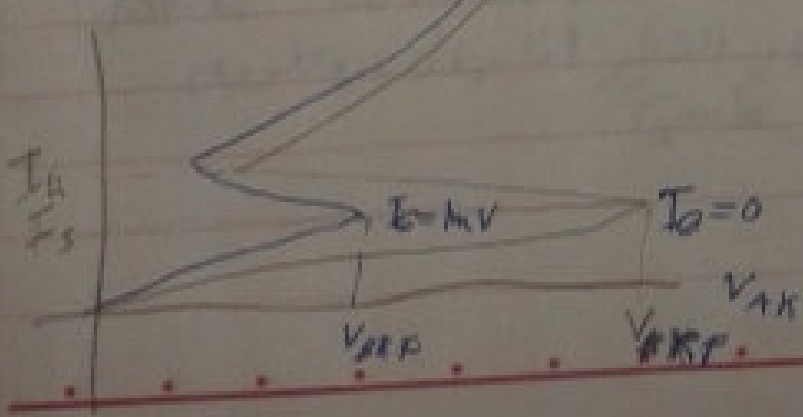
$V_A > V_K$ $Q_1 \rightarrow$ on

③ $I_G = 0$ ON ON بدون

$I_G \rightarrow$ Trigger Voltage

Switch

$I_G \uparrow$ $V_{BRF} \downarrow$ كلما زاد

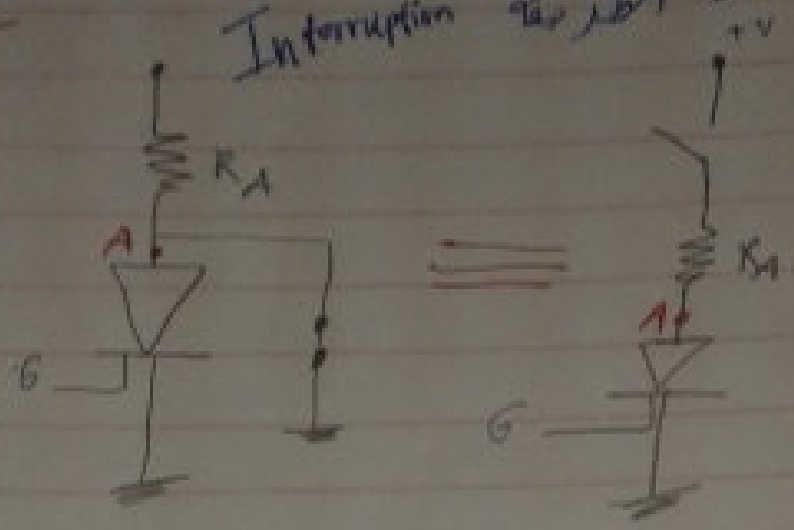


بعد ما يشتغل Gate بلاش
Switch يشتغل

Anode Current Interruption

$I_A = 0$

Interruption هذه الطريقة

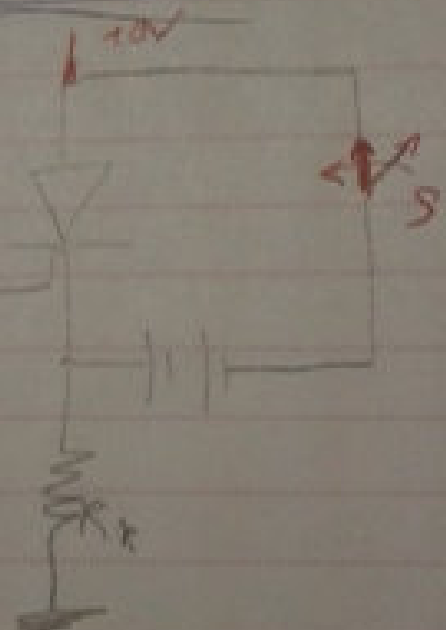


وظيفة الداخرستور إطفاء تيار Anode

Switch open	I_A ↓	ON
Switch close	$I_A \cong 0$	OFF

$I_H \rightarrow I_S$

Switch open	I_A ↓	ON
→ close	I_A ↓	OFF



I_H حيث الطاقة تقلل التيار عند
I_S حال

هذه الطريقة تسمى

Forced commutation

إجبار التيار أن يقعد طريق تيار عكسي

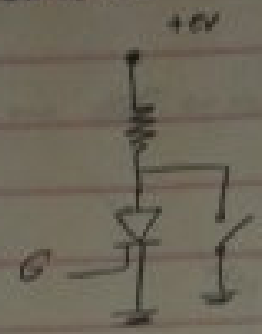
الموضوع: 4-Layer

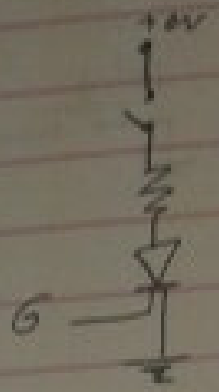
التاريخ / /

High Power

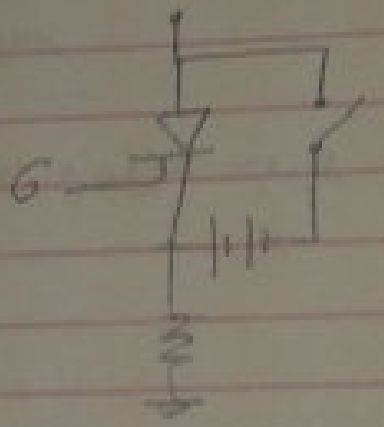
SCR OFF :

Using switch





Forced Commutation:-



حالات SCR

$V_{BR(F)}$, I_H , I_S → Switching Curt

↓ holding Curt

I_{GT} = Gate Current Trigger

$I_{F(av)}$ التيار المتوسط الذي يمر في SCR خلال التوصيل

لا بد أن يكون في حال حقيقي SCR

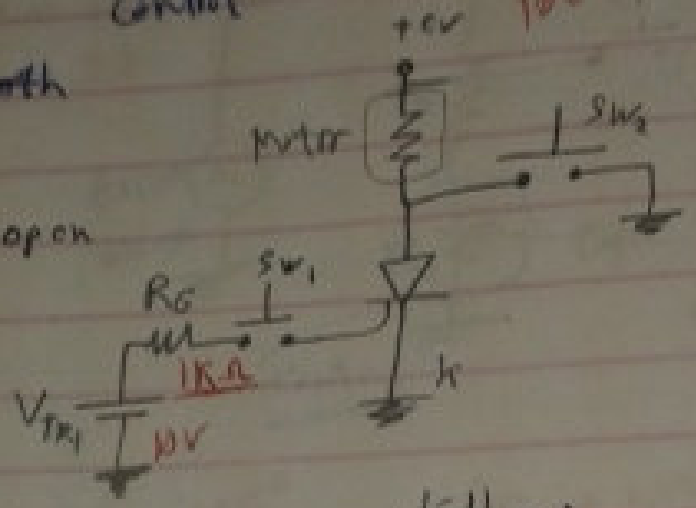
Forward Conduction Region المنطقة الأمامية من التوصيل

الموضوع:

التاريخ / /

Applications:

1. on-off Control
2. ~~Switch~~



Switch 1, 2 → ~~off~~ open

off

① close SW_1 لمرور التيار

ON

② close SW_2 , SW_1 open

OFF

يوجد تزامن بين SW_1, SW_2

R_G لحماية Gate

يمنع دخول تيار زائد

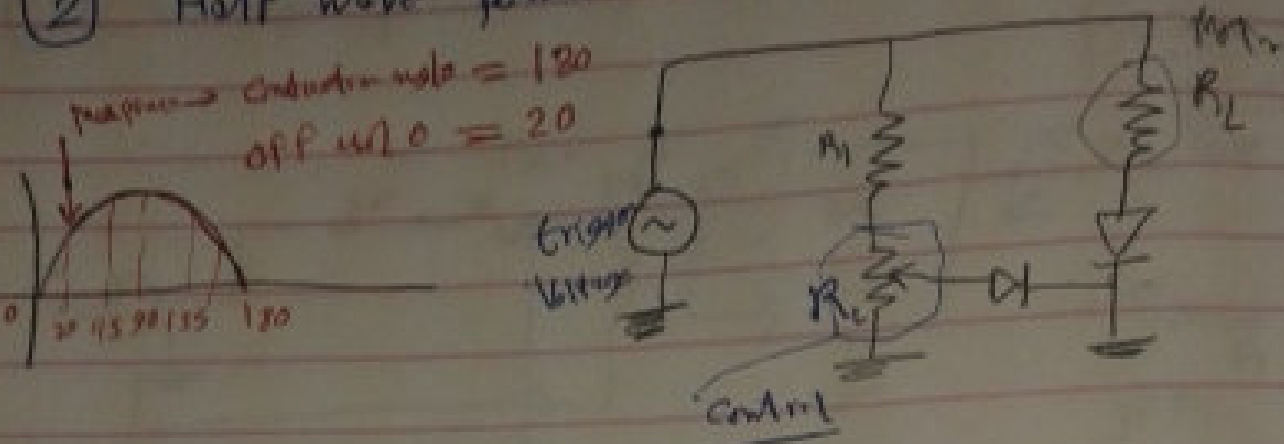
$$I_G = \frac{V}{R} = \frac{10 - V_{GK}}{R_G}$$

$$I_A = \frac{100 - V_{AK}}{R_L}$$

الموضوع :

التاريخ / /

(2) Half wave power control



Conduction angle → 45° (0 → 180)

off angle → (0 → 180°)

Cont angle ↑ power ↑

Load current ∝ $\frac{1}{\sqrt{Ak}}$

(3) Voltage protection :- UPS

↓

Un Interrupted power supply

↓

جهاز تخزين للبيانات ليزودنا بطاقة كبيرة

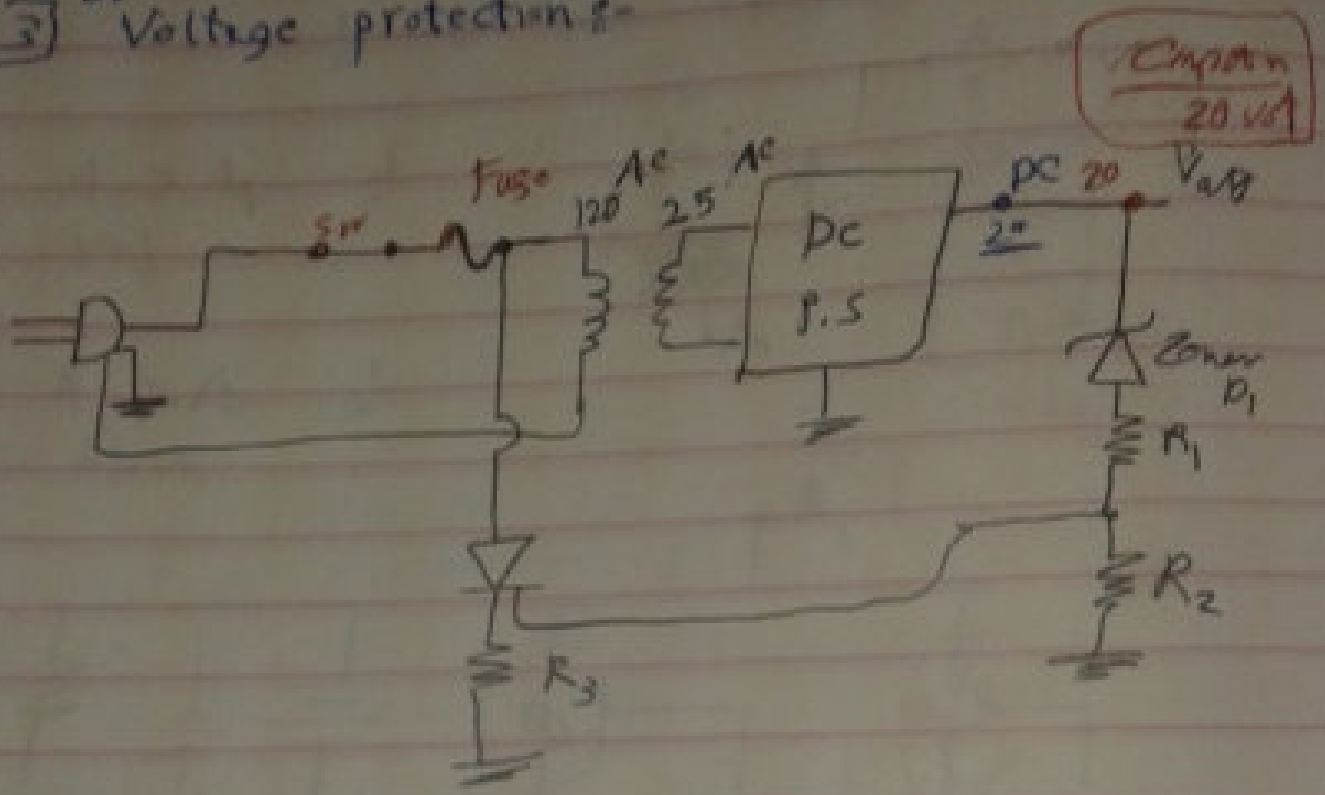
في حالة انقطاع الكهرباء لـ ثواني

عن 25°C تتحمل ؟

الموضوع :

التاريخ / / 2021

3 Voltage protection :-



لو حدث مشكلة والجهد زاد عن 20

Zener P_1 يوصل

$I_{G\ trigger} = V$

يطلق نظام التيار SCR

Fuse يتحرق

الموضوع :

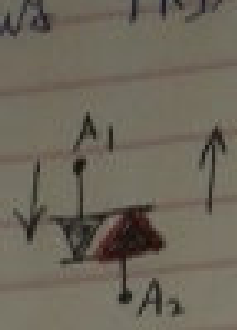
التاريخ / /

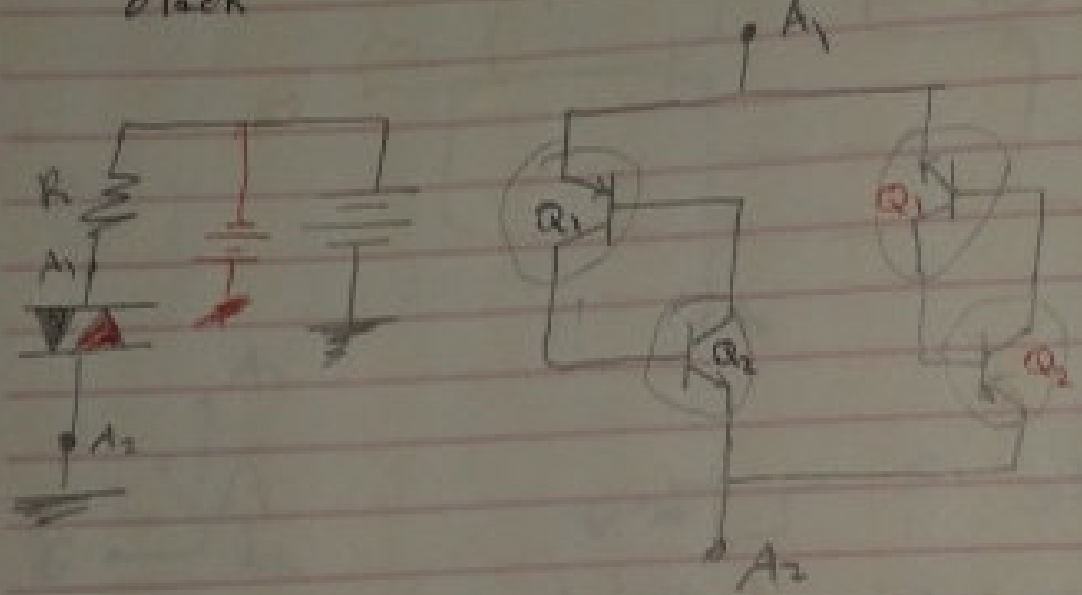
DIAC و/or TRIAC

DIAC

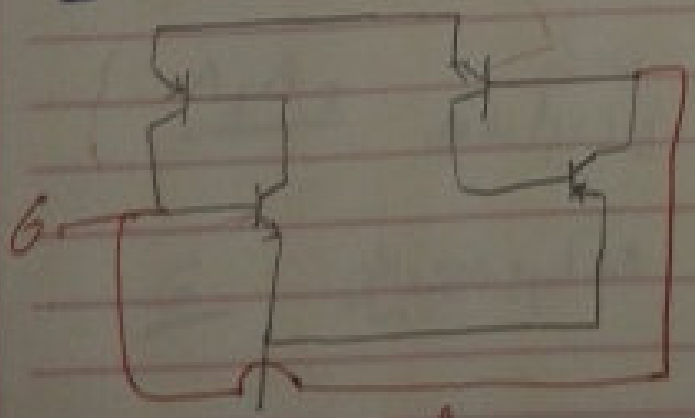
$A_2 > A_1$ لو
Volt

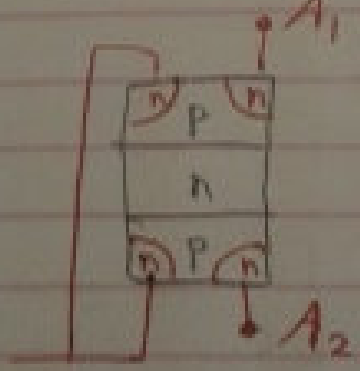
$A_1 > A_2$ لو
black





2 SCR عبارة عن TRIAC With Control

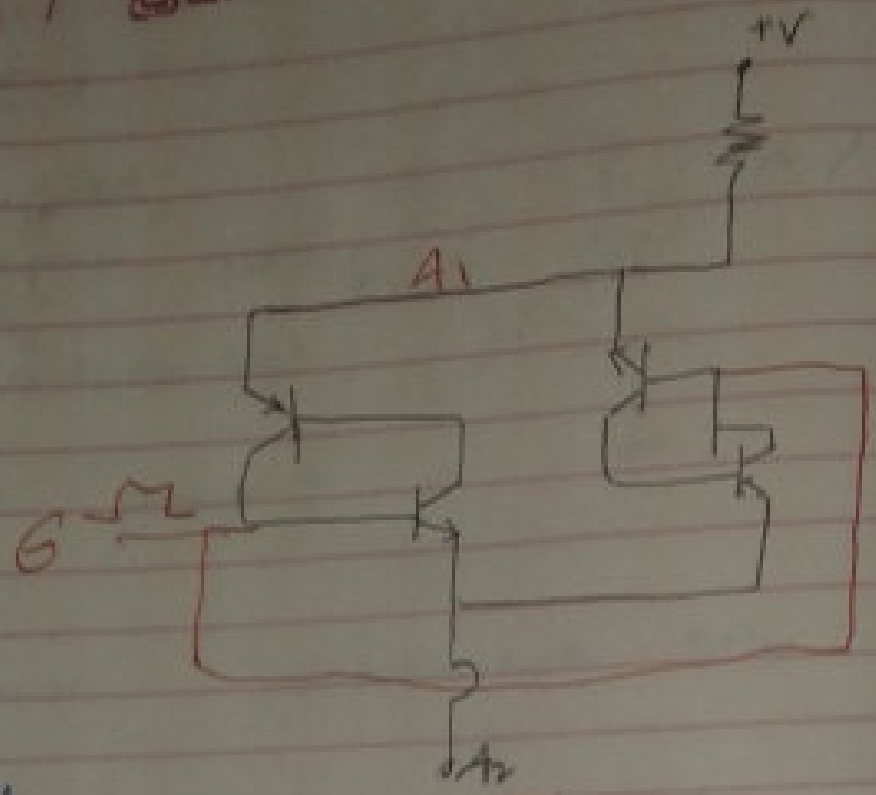


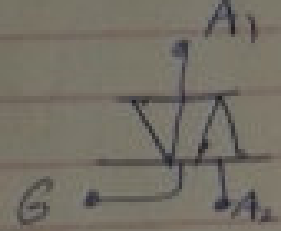


Gate
Control through
Gate current

الموضوع :

التاريخ / /





لو G كاسر

سوف يوقف الـ 4 ترانزستور

A_1A_2 يتحكم

في اتجاه التيار

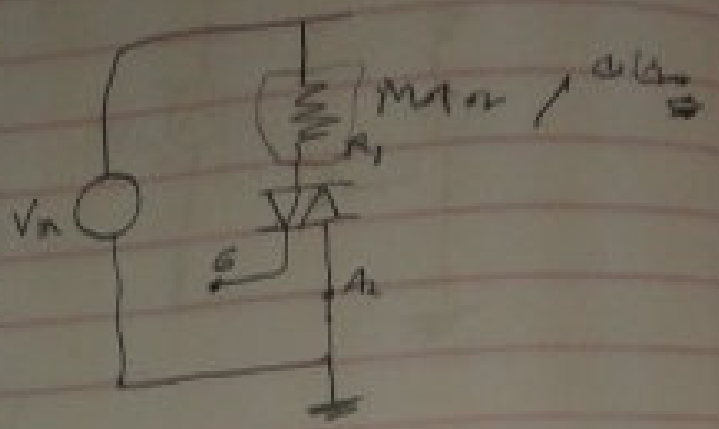
G التحكم في التشغيل

الموضوع:

التاريخ / /

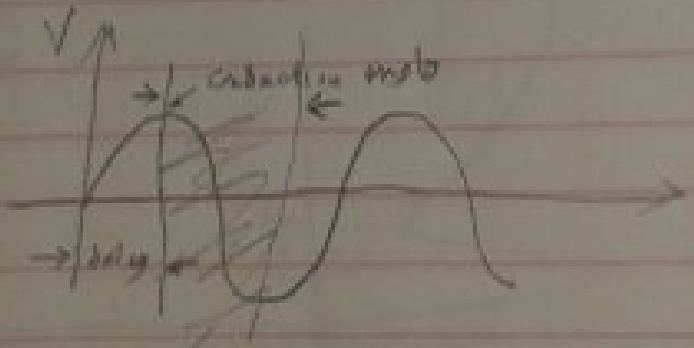
Application:

التحكم في
Avarge power
phase
Conduction angle



$C\theta \uparrow$ power $\uparrow$

Avarge power Conduction angle Delay

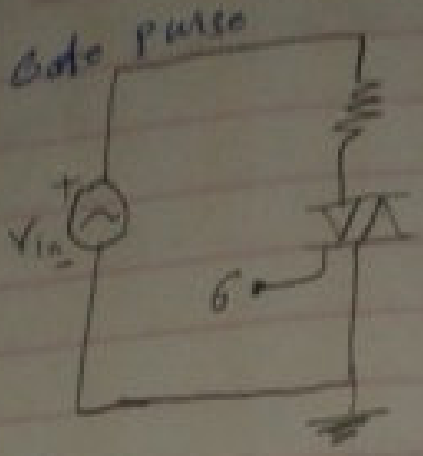


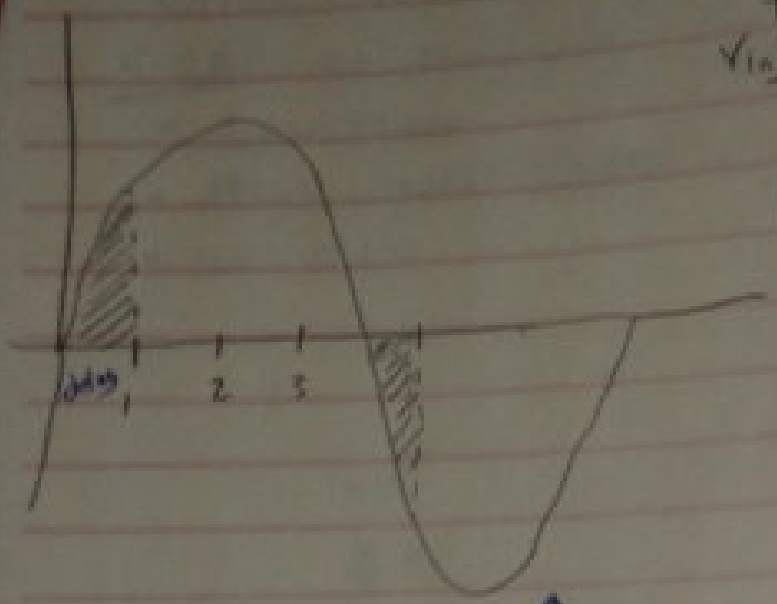
الجزء المستخدم
من الموجة

الموضوع:

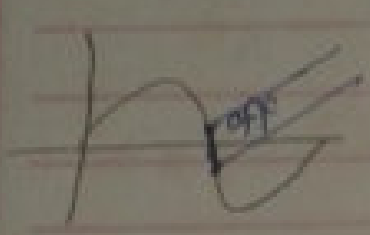
التاريخ / / /

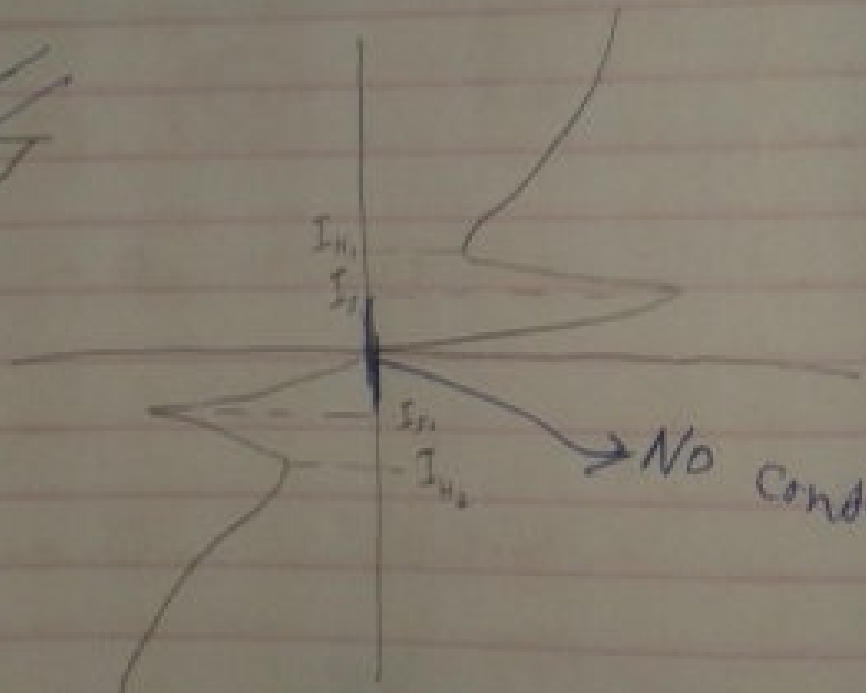
Delay → Controlled by Gate Pulse





Conduction angle ↑ Average power ↑





لابد عند التصميم تكون دائما off

الموضوع:

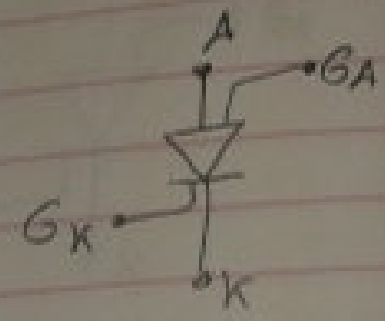
التاريخ / /

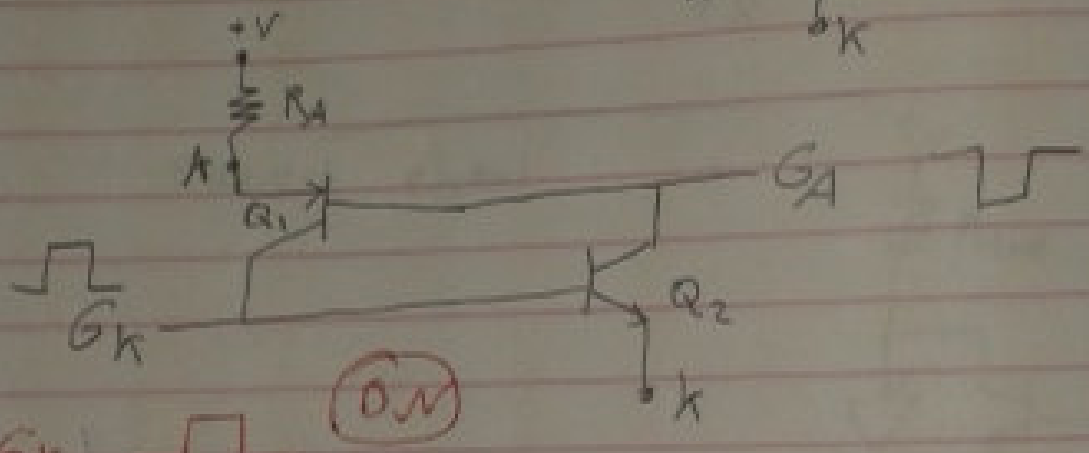
SCS → Low power

Silion controled Switch

SCR هي بالعربي

* Low power
* High speed switch
* two Gates





GK

Q_2 ON → Q_1 → conduction

GA

Q_1 ON → Q_2 → Conduction

OFF

GK -ov GA +ov

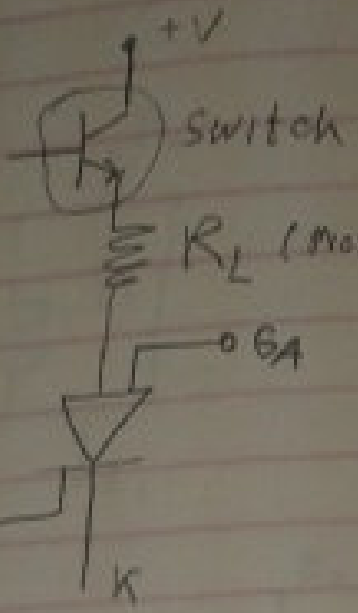
الموضوع: SCRs control

التاريخ / /

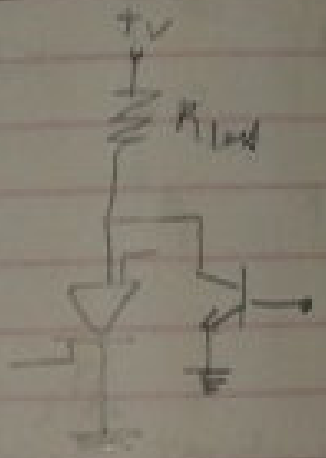
Series

$I_{RA} = 0$

① Switch off
② switch ON
node signal to Run



Parallel Control

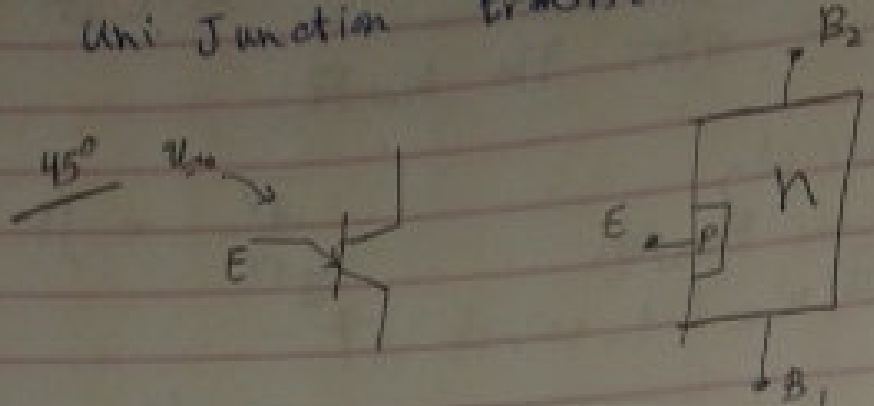


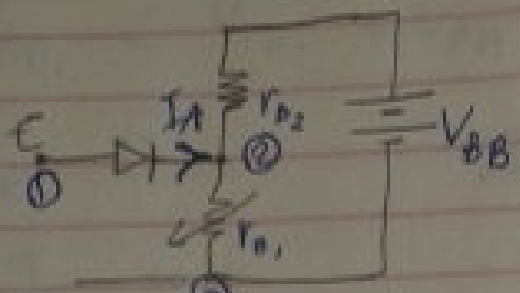
الموضوع :

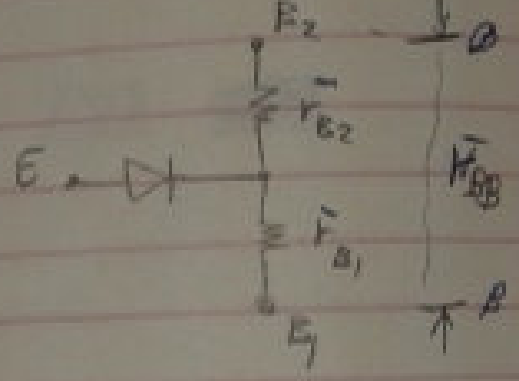
التاريخ / /

UJT

Uni Junction transistor







$V_E \geq V_{Pn} + V_{rB_1}$

$V_{rB_1} = V_{BB} \frac{V_{B1}}{V_{BB}}$

r_{B_1} , r_{B_2}

Dinamic resistance

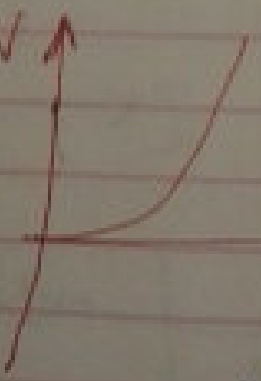
Static R

عند قياسها تكون ثابتة

تتبع قانون أوم

المقاومة ثابت

Dinamic R



المقاومة متغير

الموضوع:

التاريخ / /

I_E , V_{B_1} عكسية

Stand off ratio

$$\eta = \frac{V_{B_1}}{V_{BB}}$$

الحامل هنا هام
لأنه يحدد أقصى تيار
يتحملها لأن التيار يمشي على V_{B_1}

لو

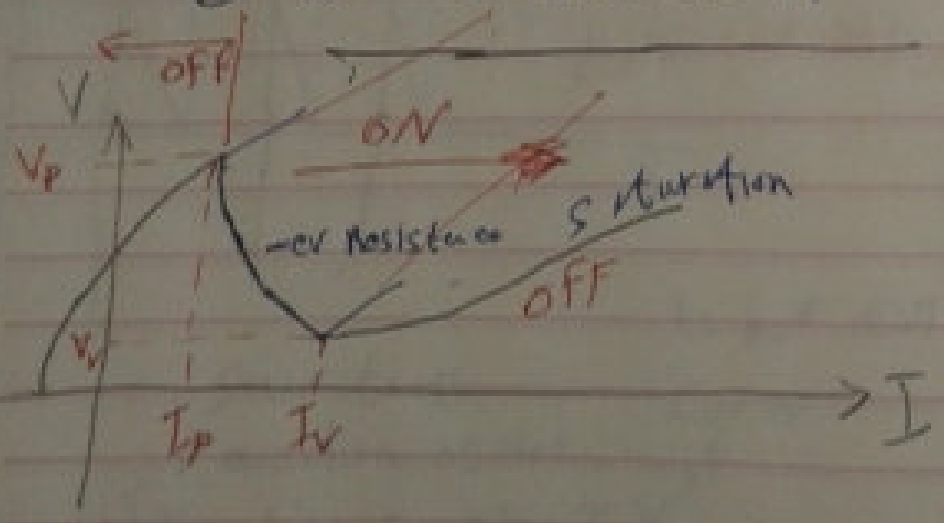
$$V_{EB_1} < V_{rB_1} + V_{Pn}$$

I_E ∩ عكس Diod

$$I_E = 0$$

$$V_P = \eta V_{BB} + V_{Pn}$$

① ← E تحتاج إلى V_P



-ve resistance operator

Situation

off switch

الموضوع:

التاريخ / /

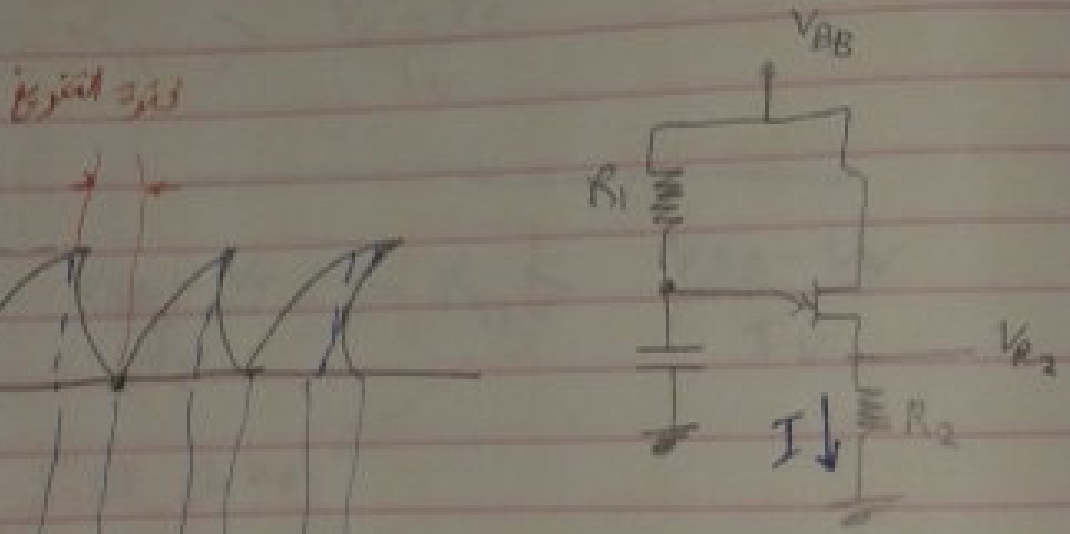
$\eta = 0.6 \qquad V_{BB} = 20$

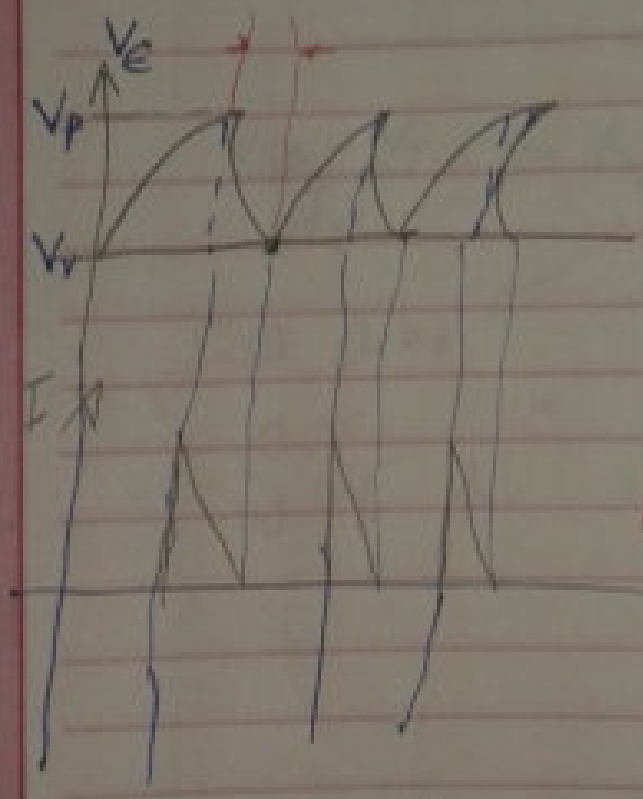
$V_{\gamma n} = 0.7$

$V_P = \eta V_{BB} + V_{\gamma n}$

$= (0.6)(20) + 0.7$

$= 12.7 \ Volt$





Saw tooth
Relaxation oscillator

هذا الشكل الموجة تسمى
أو
لأنها تشحن ثم تفرغ وهكذا

استمرار بسبب انشاء فترة التفريغ

الموضوع :

التاريخ / /

ON

$$V_{BB} - V_P > I_P R_{B1}$$

$$R_1 < \frac{V_{BB} - V_P}{I_P}$$

ON

$$V_{BB} - V_V < I_V R_1$$

$$R_1 > \frac{V_B - V_V}{I_V}$$

$$\frac{V_{BB} - V_P}{I_P} < R_1 > \frac{V_{BB} - V_N}{I_V}$$

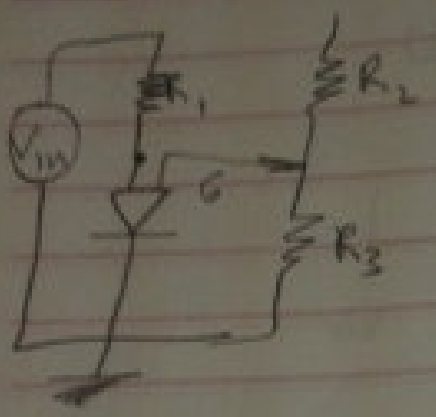
يعمل العنصر
ON
OFF

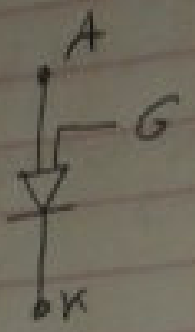
الموضوع :

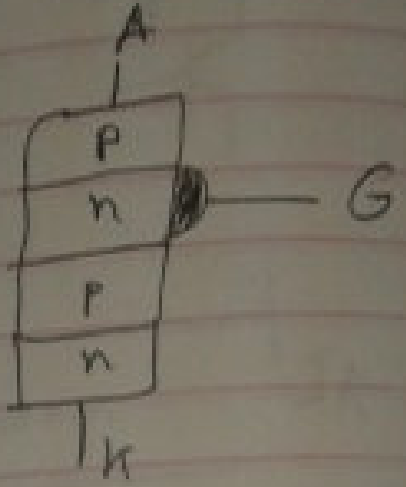
التاريخ / /

PUT

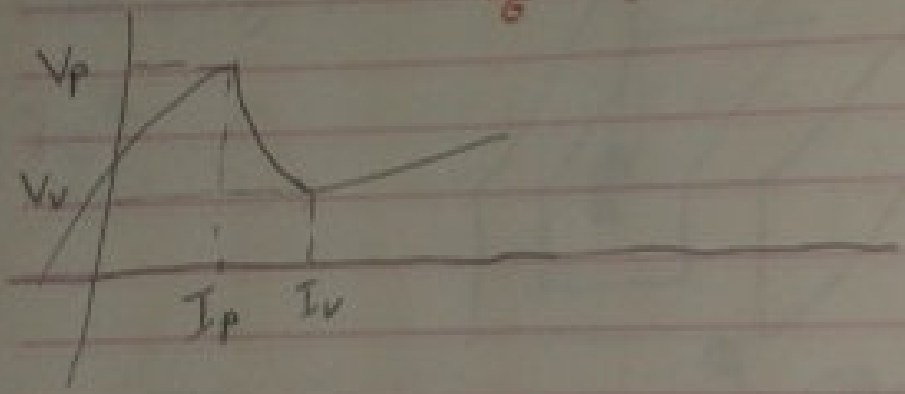
Programble Uni Junction Transistor







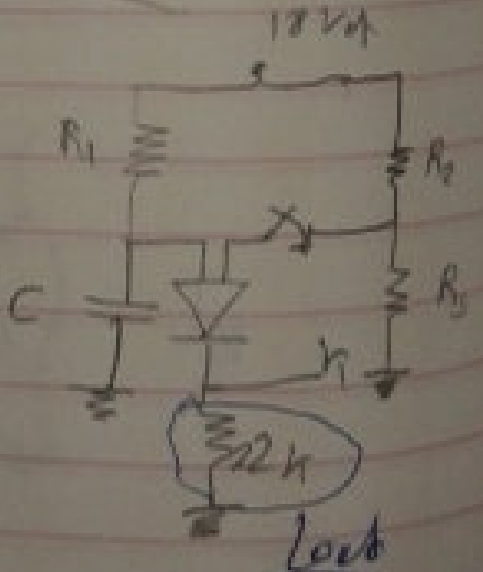
البوابة هي ضبط قيمة V_G



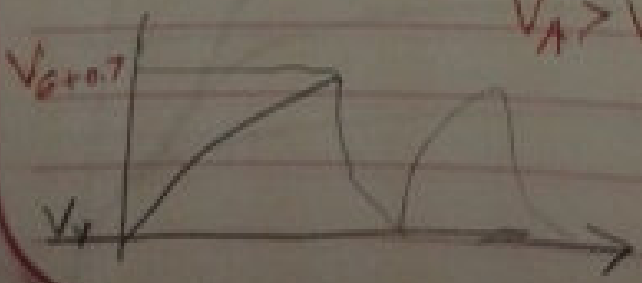
$V_A > V_G$ حتى يعمل

R_1, R_2, R_3 المقاومات

$$18 \frac{R_3}{R_2+R_3}$$



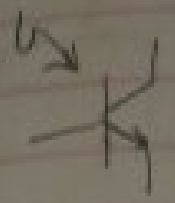
$V_A > V_G + 0.7$



الموضوع:

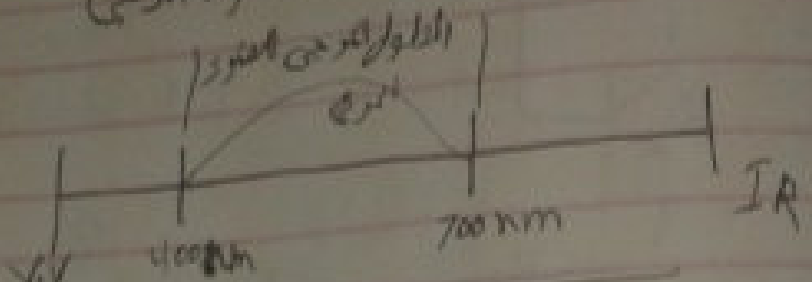
التاريخ / /

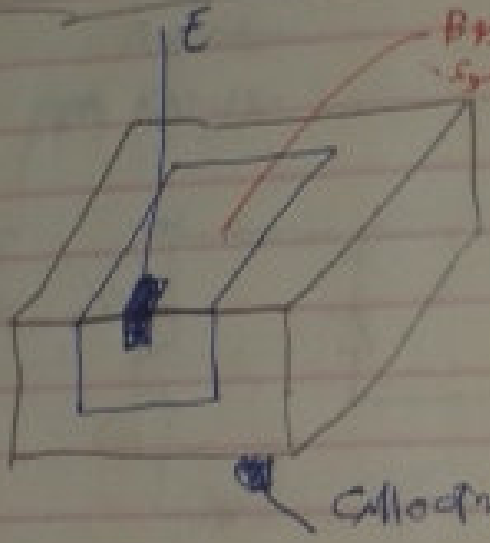
Photo Transistor



I_λ

الطول الموجي



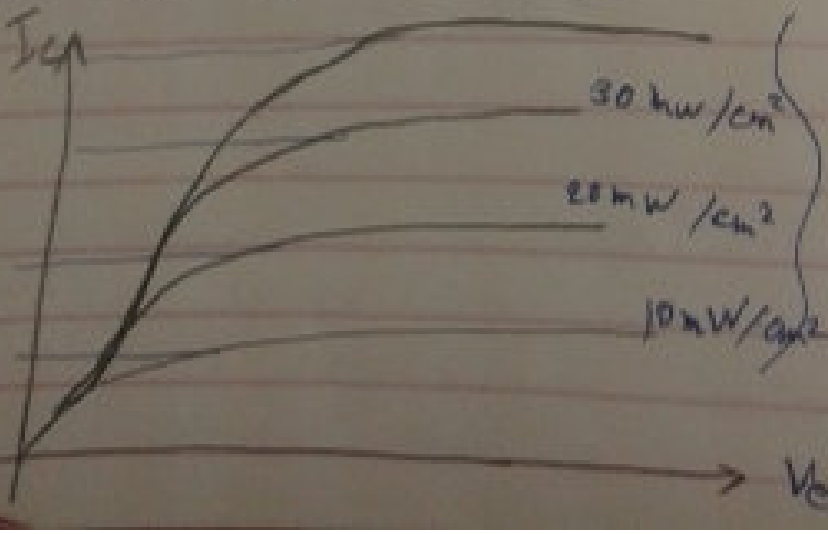


Light Energy ↑

I_C ↑

$I_C = \beta_{DC} I_\lambda$

I_λ light generated current

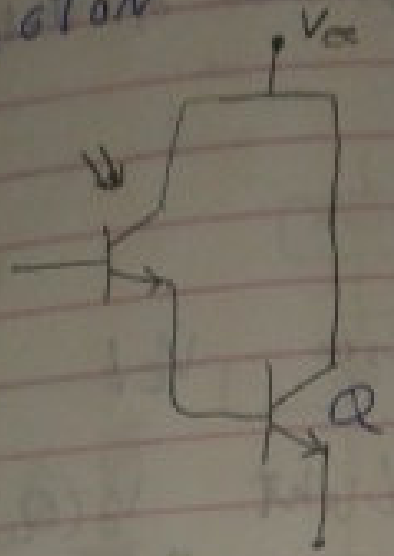


الموضوع:

التاريخ / /

photo DARLIGTON

يوجد 2 ترانزستور واحد
غرض الترانزستور تكبير التيار

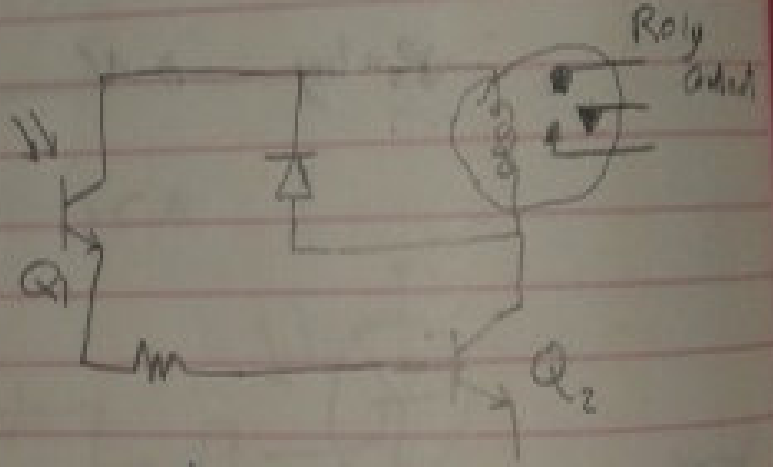


Application

① Light operated Relays-

Dark Q_1 → off
Light Q_1 → ON

Q_2 → ON
Relay → ON

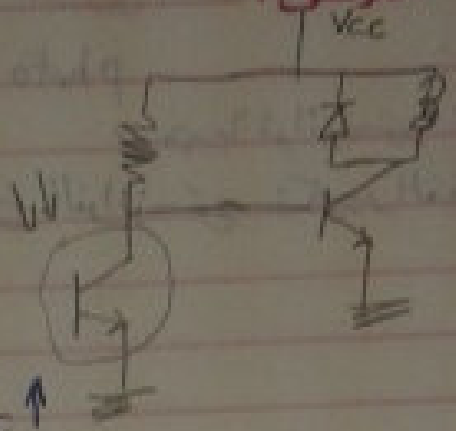


غرض الحماية Diod

التاريخ / /

الموضوع :

② Dar knasi aporatel Relay



Transistor $V_C \downarrow$ if $I_C \uparrow$

Light $V_C (Q_1) \downarrow$ Q_2 off

Relay off

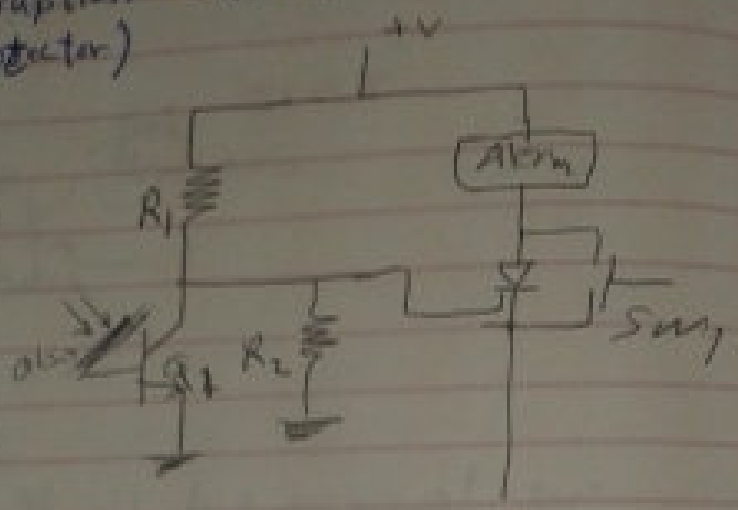
(Dark) Light off $V_C (Q) \uparrow$ Q_2 ON

Relay ON

الموضوع:

التاريخ / /

③ Light Interruption alarm:
(Smoke detector)



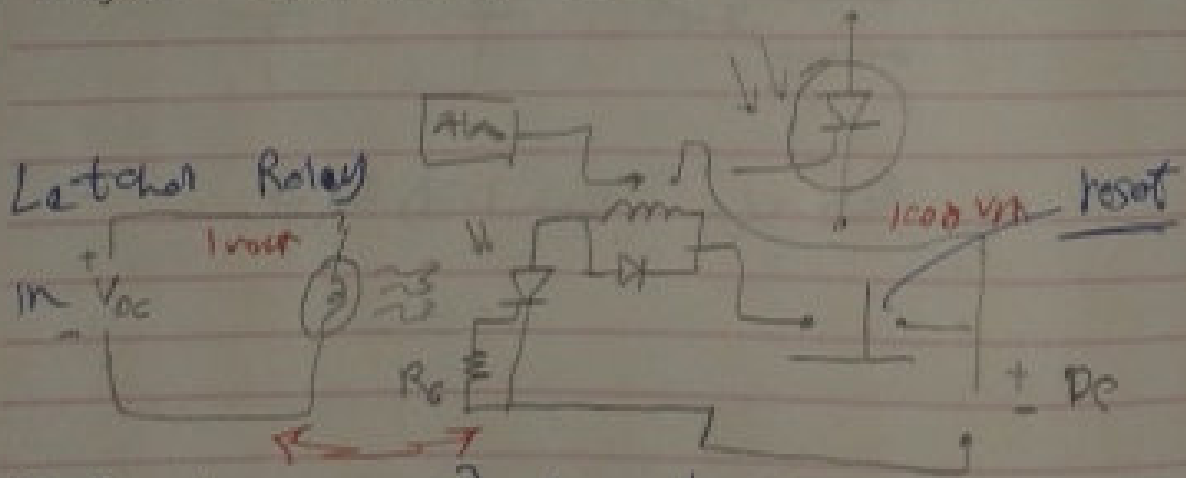
Light $V_c(Q_1)$ ↓

I_G ↓ SCR off
alarm off

Dark $V_c(Q_1)$ ↑

I_G ↑ SCR on
alarm on

LASCR
Light Activated SCR



1) Input 2) Lamp Light
3) Light triger LSCR
4) And connect
5) Alarm ON

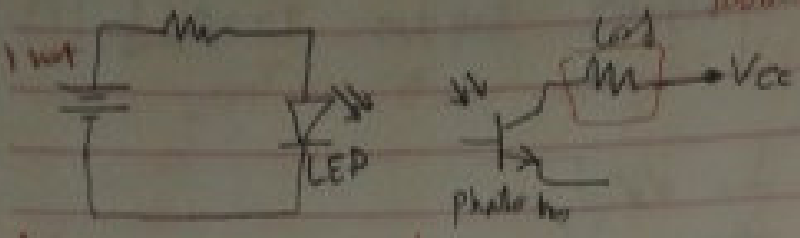
Latch must keeping

$\frac{1000\ V/s}{1\ V/s} = 1000$ → Isolation Factor
معامل العزل

الموضوع :

التاريخ / /

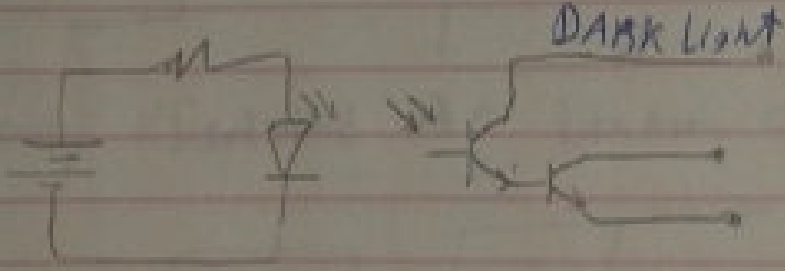
Optical Cuplers



Light Emiting Diod

LED

عبارة عن ضوء يميل إلى الأزرق
قد تتحمله العيون وقد يؤثر عليها
يسبب حساسية لشبكية العين



تيار الحمل يزيد عندما تقل السرعة

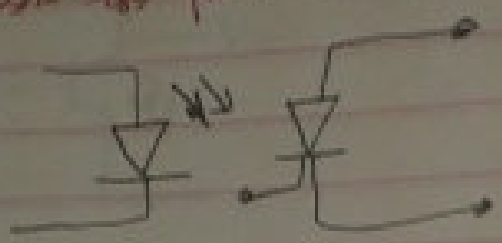
الموضوع :

التاريخ / /

Optical coupling Devices

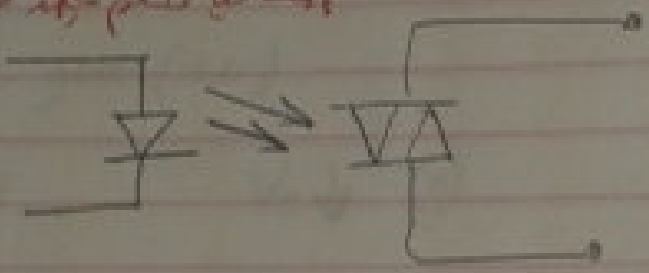
① LASER output coupler

امكانية تحكم جهد صغير في جهد كبير



② photo Triac output coupler

امكانية تحكم جهد صغير في جهد كبير



③ optically Isolated AC Linear coupler

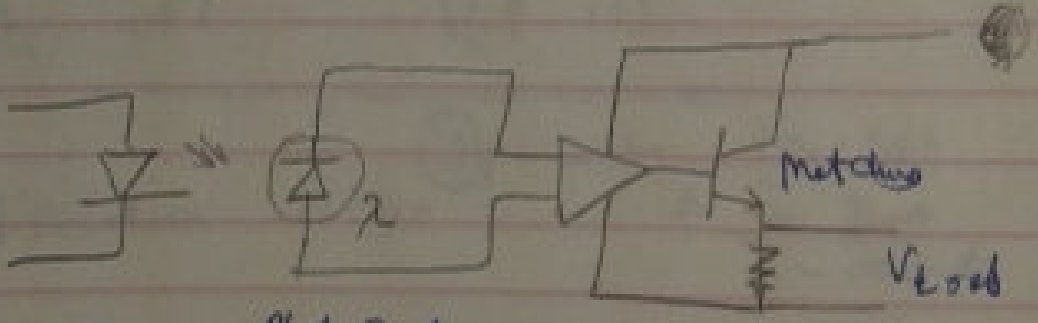


Photo Diode

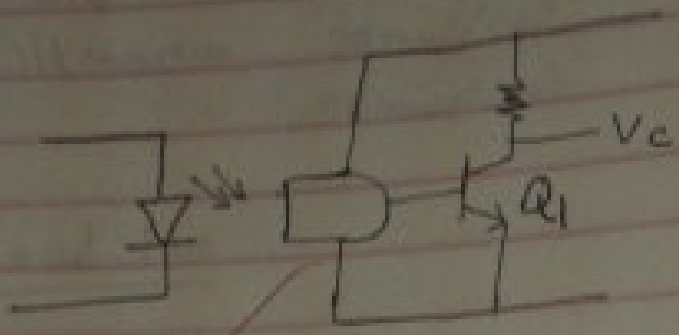
امكانية تحكم جهد صغير في جهد كبير

Current collector

الموضوع :

التاريخ / /

④ Digitaly output Coupling



Light gate (on)

Q_1 ON $V_c \downarrow$ (0)

Dark gate (off)

Q_1 off $V_c \uparrow$ (1)

---

③ parameter For test

① Isolation Voltage ↑ = $\frac{I_{out}}{output}$

② DC current transfer ratio ~~$\frac{I_{LED}}{I_{load}}$~~ ↑

$\frac{I_{out}}{I_{LED}}$

③ Led triger current

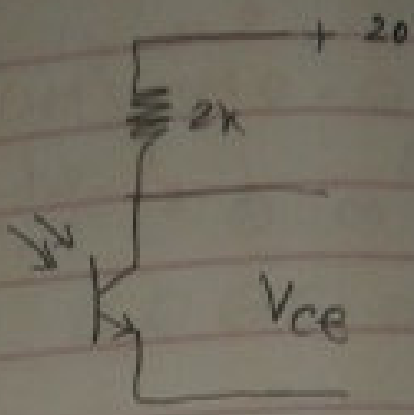
التيار اللازم لتشغيل Led

m.A

الموضوع :

التاريخ / /

Out Vitage When
Illumination 20 mW/cm²
1/0 mW/cm²



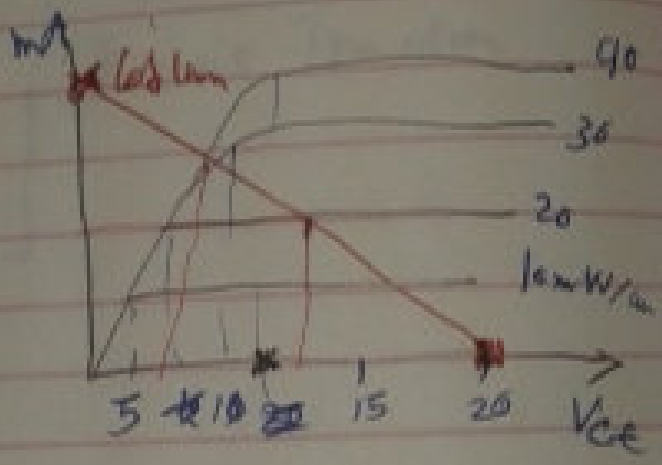
Load line

$$V_{ce} = V_{cc} - I_c R_c$$

$$V_{ce} = V_{cc} \quad \{ I_c = 0$$

$$V_{cc} = 0$$

$$I_c = \frac{V_{ce}}{R_c}$$



20 w ⟶ 10
40 w → 5

V ↓ ⟵ Illu ↑

الموضوع:

التاريخ

Opto - electronic Devices

$h\nu > E_g$

يقفز الإلكترون إلى ① فوق
الطاقة الواحدة تفقد في صورة حرارة

$h\nu = E_g$

② يقفز الإلكترون إلى

} Intrinsic Transition

$h\nu < E_g$

تقفز الإلكترونات إلى مناطق داخل

$\frac{E_g}{E_g}$ بسبب وجود مسارات طاقة داخل

Wavelength $\lambda = 0.4 \rightarrow 0.7$ Mm الضوء المرئي

U.V
0.01 → 0.4
الموجات

IR
Remote control

$$\lambda = \frac{c}{\nu} = \frac{hc}{h\nu} = \frac{hc}{E} = \frac{1.24}{E} \quad M.m$$

طاقة الفوتون تتناسب عكسياً مع λ الطول الموجي

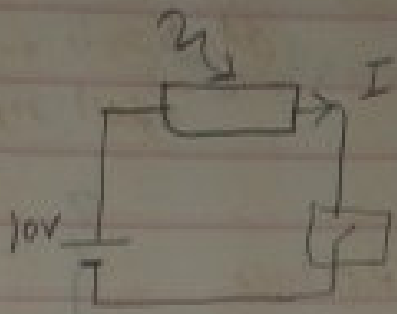
التاريخ / /

الموضوع :

Photo resistor

مقاومة المستشعرة
CdS

Dark	1MΩ
Light	1KΩ



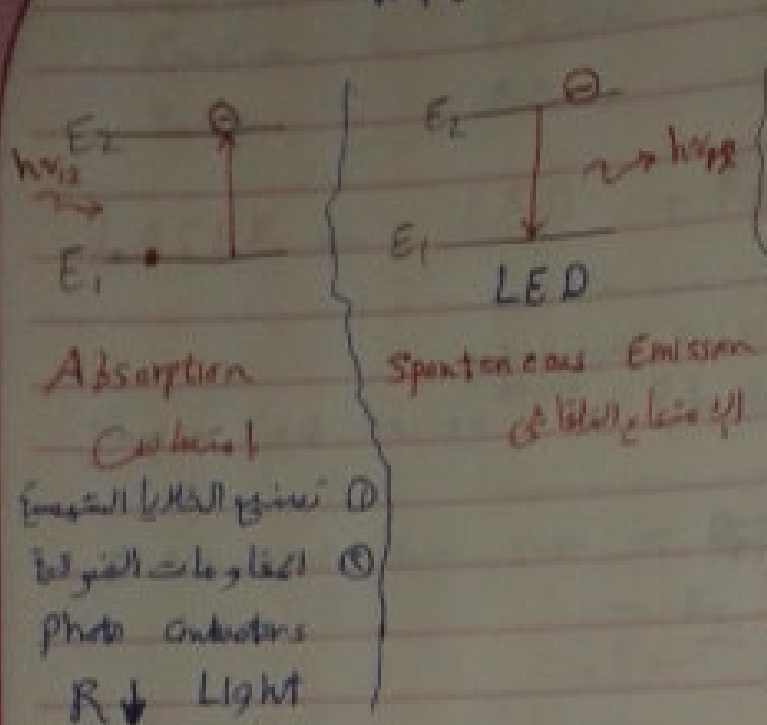
I < 10mA OFF

I > 1mA ON

الموضوع:

التاريخ / /

* Radiative Transition



Instmon population
تراكم الشحنات العظمى

Condition $n_2 > n_1$

E_2 n_2

E_1 n_1

$n_2 > n_1$

Inversion Population

انقلاب التكثيف

$$\frac{n_2}{n_1} = e^{-(E_2 - E_1)/kT}$$

$$\frac{n_2}{n_1} = e^{-h\nu_{12}/kT} \rightarrow ②$$

$$\lambda = \frac{c}{\lambda} = \frac{1.24}{h\nu} \rightarrow ①$$

الموضوع:

التاريخ / /

Stimulated Emission Rate = Spontaneous Emission Rate + Absorption Rate

LASER = LED + Photo Conductors → ②

Photon Field Energy (density) = $\rho h\nu_{12}$

Stimulated emission rate = ~~$B_{21} N_2 \rho h\nu_{12}$~~
$= B_{21} n_2 \rho h\nu_{12}$

$B_{21} n_2 \rho h\nu_{12} =$ — + —

Absorption rate = $B_{12} n_1 \rho h\nu_{12}$

Spontaneous emission rate = $A_{21} n_2$

$B_{21} n_2 \rho h\nu_{12} = A_{21} n_2 + B_{12} n_1 \rho h\nu_{12}$ → ③

$\frac{\text{Stimulated}}{\text{Spont}} = \frac{B_{21} N_2 \rho h\nu_{12}}{A_{21} N_2} = \frac{B_{21}}{A_{21}} \rho h\nu_{12}$ → ④

↳ Stimulated > Spontaneous

↳ $\rho h\nu_{12}$ ↑ optical resonant cavity

In → Out

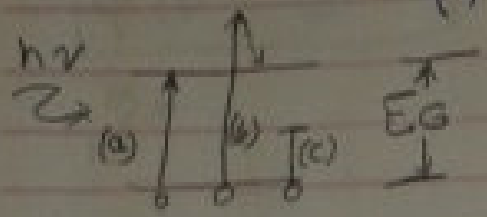
الموضوع:

التاريخ / /

$$\frac{\text{Stimulated absorption}}{} = \frac{B_{21} n_2}{B_{12} n_1} = \frac{B_{21}}{B_{12}} \left[\frac{n_2}{n_1}\right]$$

ليعمل ليزر ← $n_2 > n_1$

* Optical Absorption (photo conduction)



(a) $h\nu = E_g$ ← Intrinsic transition (Band to Band Transition)

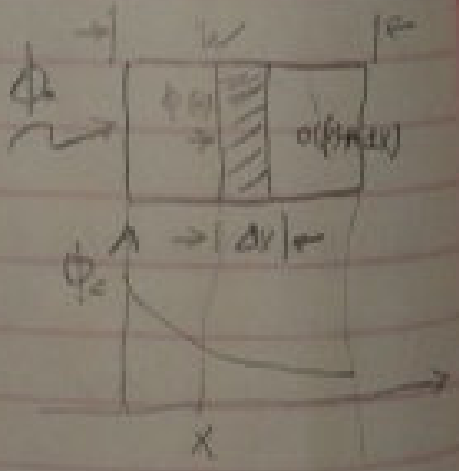
(b) $h\nu > E_g$ ← $h\nu_{kin} = h\nu - E_g$ يفقد حراري

(c) $h\nu < E_g$ → Extrinsic

← يسمى بذلك بسبب وجود شوائب

حيث الضوء الذي يسقط على مادة

Optical flux ϕ_0



الجزء الذي تم امتصاصه من الفوتونات لكل وحدة مساحة مع $\phi(x)$ عدد الفوتونات الممتصة في الشريحة Δx

معامل الامتصاص Absorption coefficient α

$$\phi(x+\Delta x) - \phi(x) = \frac{d\phi(x)}{dx} \Delta x = -\alpha \phi(x) \Delta x$$

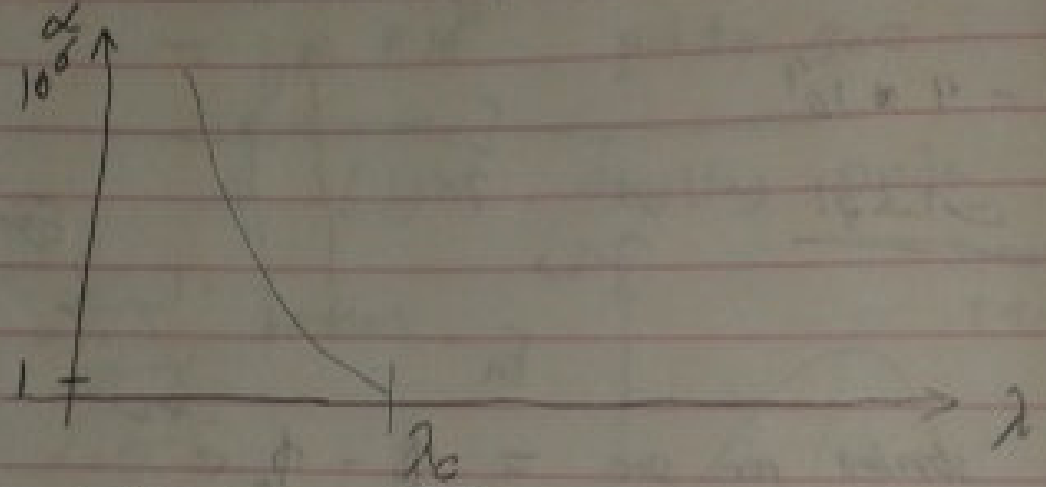
الموضوع :

التاريخ / /

Optical absorption

$$\frac{d\phi(x)}{dx} = -\alpha\, \phi(x)$$

$$\boxed{\phi(x) = \phi_0\, e^{-\alpha x}}$$



λ_c الطول الموجي الحرج الذي يقل عنه معامل الامتصاص لأقل ما يمكن

$$\boxed{\lambda_c = \frac{1.24}{E_g}}\ \mu.m$$

التاريخ / /

الموضوع:

Ex: silion ⟵ 0.29 μm

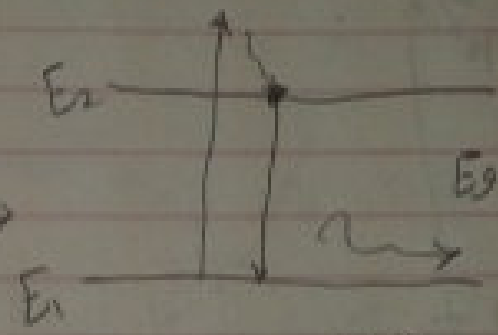
$h\nu = 3$ ev

Φ_0 10 mw

مطلوب:
① الطاقة الكلية التي يمتصها ذرة السيليكون في الثانية
② نسبة الطاقة الحرارية المفقودة
③ عدد الفوتونات في الثانية التي تخرج من LED

$\alpha = 4 * 10^4$ cm⁻¹

الوحدات



Energy absorbed per sec $= \Phi_0 - \Phi_0 e^{-\alpha x}$

$= \Phi_0 (1 - e^{-\alpha x})$

$= 10^{-2} (1 - e^{-4*10^4 \times 0.25 \times 10^{-4}})$

$= 0.0063$ J/sec

$= 6.3$ mwatt ⟵ الجزء الذي امتصه

10 mwatt الطاقة الساقطة ⟵ متصلة على

② portional Photons energy converted to heat (نسبة)

$= \frac{h\nu - E_g}{h\nu} = \frac{3 - 1.12}{3} = 62\%$

الطاقة الحرارية المفقودة $62\% * 6.3 = 3.9$ mw

الموضوع: الطاقة الباقية

التاريخ / /

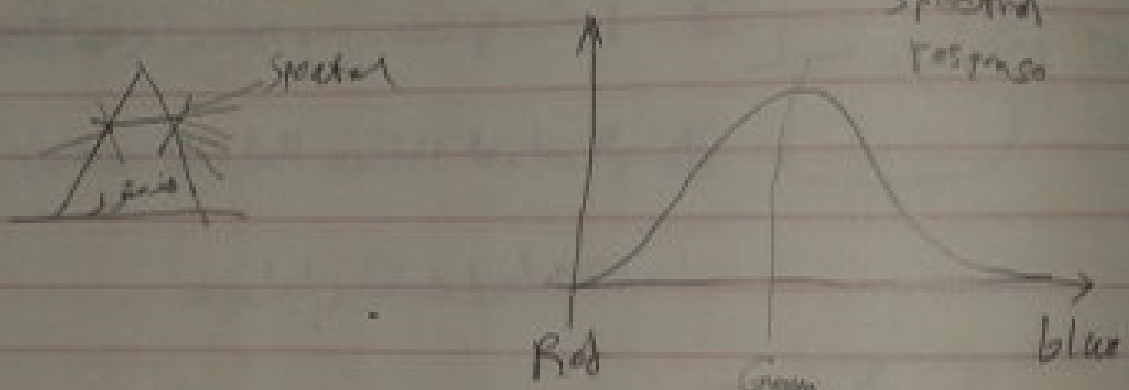
$6.3 - 3.9 = 2.4$

الطاقة الخارجة على شكل ضوء

$$\text{عدد الفوتونات} = N_{of\ photon} = \frac{2.4}{E_{nrg\ of\ photon}} = \frac{2.4}{1.12 \times 1.6 \times 10^{-19}}$$

$$= 1.3 * 10^{19} \quad photon/sec$$

* Light emiting Diode

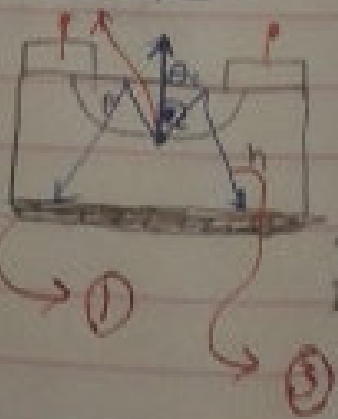


أفضل ضوء لا ينعكس الضوء الأخضر

منا تكل الباقي

① Absorption With Led material
② reflection Loss from Led to air
③ reflection of light at angle $> \theta_c$

Visible LED



الموضوع:

التاريخ / /

$$\sin\theta_c = \frac{n_1}{n_2}$$ معامل انكسار الهواء / معامل انكسار الوسط

$n_2 = 3.6 \longrightarrow \theta_c$ كم تساوي طول الموجي

$n_1 = 1$

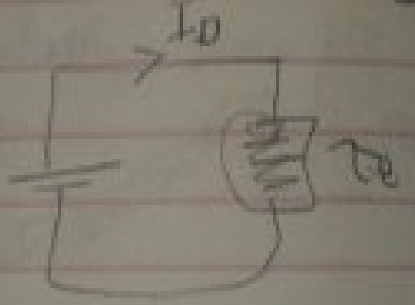
$$I = I_{dm}\left[\exp\left[q\frac{(V - IR_s)}{KT}\right] - 1\right] + \frac{V}{R_{sh}} + I_p \exp\left[\frac{q(V - IR_s)}{2KT}\right]$$

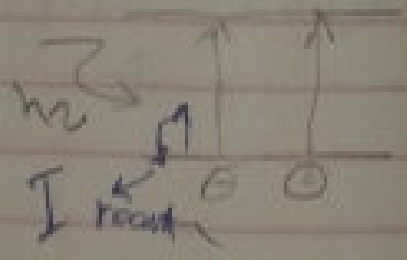
$I_p \rightarrow$ recombination current

① إذا زاد الإشعاع ← صغير

② R_s مقاومة الدايود الداخلية ← صغيرة

وذلك لزيادة تيار الدايود

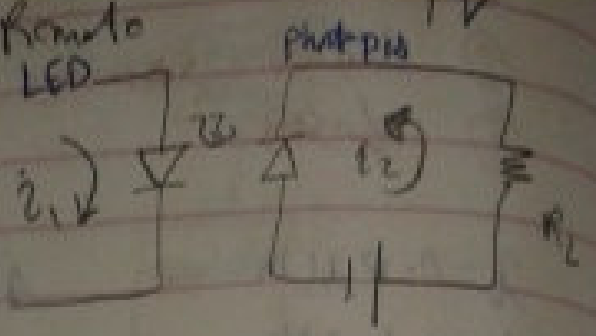




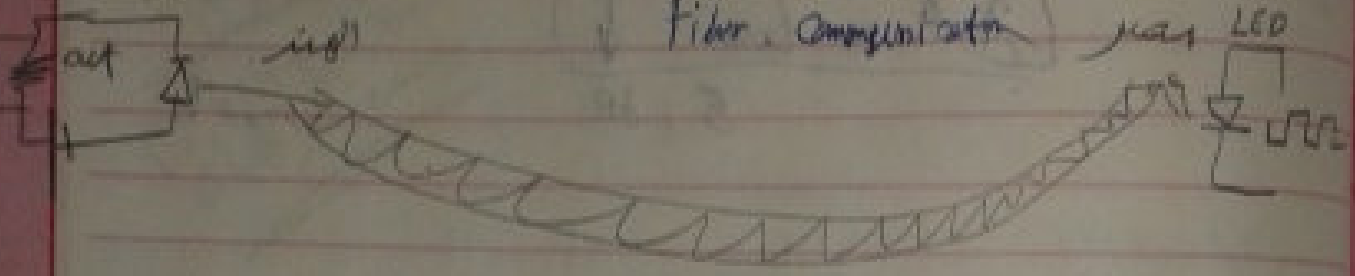
IR LED

التطبيق الأول

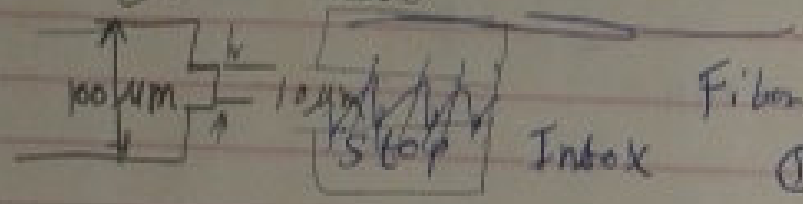
T.V. Remote



التطبيق الثاني



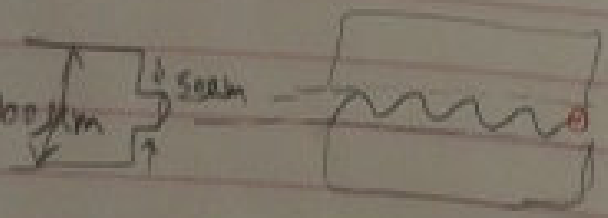
Fibber Cable



Fiber نوعين من

① Index

② Graded Index



معامل انكسار القلب أكبر من معامل انكسار الغلاف

Graded تستخدم للمسافات المتوسطة

الموضوع :

التاريخ / /

الموضوع :

Fiber Advantages

1. cost
2. Light Spreading
3. Losses

$\lambda = 0.8\,\mu m$ Attenuation Factor = 3 dB/km

$\lambda = 1.3\,\mu m$ = 0.6 dB/km

$\lambda = 1.55\,\mu m$ = 0.2 dB/km

$\lambda \uparrow$ Losses $\downarrow$

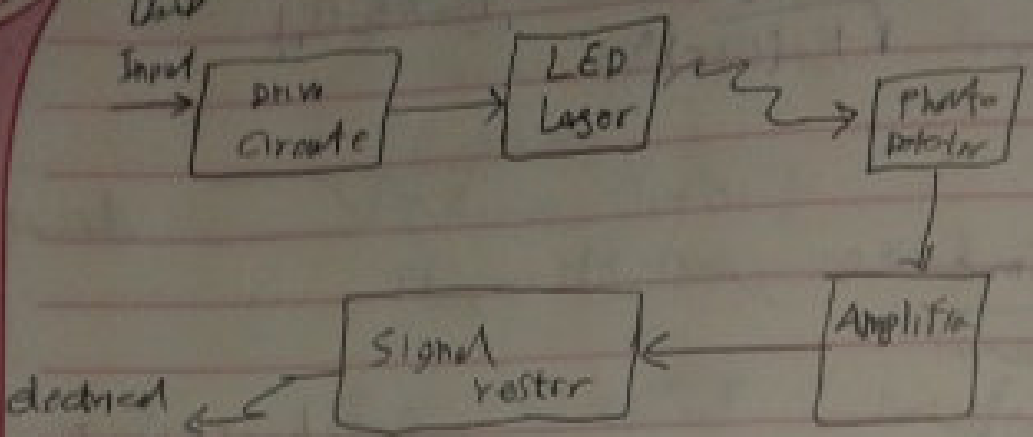
5 dB

العيوب

Take off 140 dB الصوت المزعج

الموضوع:

التاريخ / /



فوتوفولو

متأنقي دول العالم
وهيتم جيزا قادري

الموضوع

التاريخ

الموضوع: إمكانية التعديل

$$P(w) = \frac{P(0)}{\sqrt{1+(wc)^2}}$$

بإرسال

الضوء داخل العنصر

τ life time

الزمن الذي يستغرقه الالكترون في مستوى الإثارة حتى يعود لمستواه الأصلي

يمكن تعديل تردد

Modulation Bandwidth

$$\Delta f = \frac{1}{2\pi\tau}$$

مدى التعديل

Calculate Modulation Bandwidth

GaAs

$\tau =$ ؟ $\Delta f =$ ؟

$\Delta f = 3.18$ MHz

التاريخ / /

Semiconductor LASER

(mono Chromatic)

(Sharp)

(hiegh power)

(λ = 0.3 μm → 30 μm)

GaAs, GaAsInP

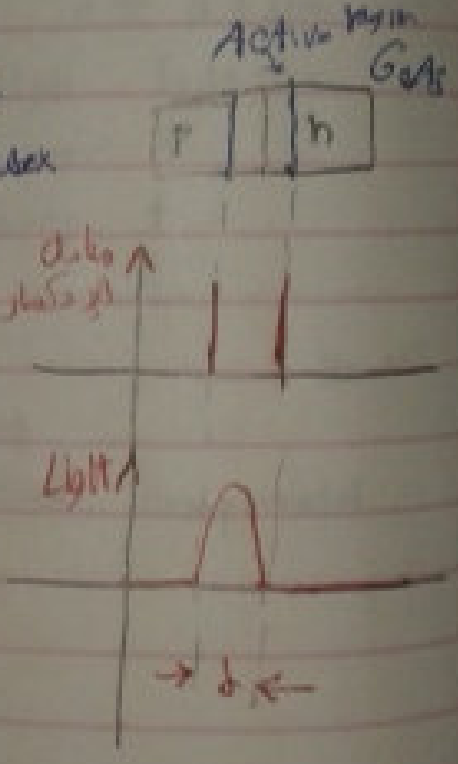
LASer operation

(1) Population Inversion

Active region

معامل الانكسار هو الذي يحدد

Refractive Index



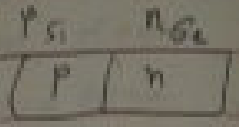
Active region

الموضوع:

التاريخ / /

Homo Junction
لو الوصلتين من نفس المادة

Hetero Junction
لو الوصلتين من مادتين مختلفتين



Homo Junction laser

GaAs GaAs

$d = 2\mu m$

Hetero Junction laser

AlGaAs GaAs

$d = 0.5\mu m$

① High Injection
② power ↑
③ Sharp ↑

---

① cost
② Design. Complicated

الموضوع:

التاريخ / /

Carrier and optical Confinement :-

معاملات الإنكسار هي المسؤولة عن ذلك
Confinement

معامل الإنحصار Confinement factor :

$$\Gamma = 1 - e^{(-c\,\Delta n\,\delta)}$$

Γ ← معامل الإنحصار
Δn ← الفرق بين معاملات الإنكسار
δ ← Active region سمك
c ← ثابت

سطح عاكس لزيادة Γ خالي أو بسمك

معامل الإنعكاس

$$R = \left[\frac{n-1}{n+1}\right]^2$$

n ← معامل الإنكسار

$\simeq$ 30 o/o

زيادة الإنكسار بإضافة

الموضوع:

التاريخ / /

Length of active region

$m\lambda = 2\bar{n}L$ ← Cavity length

$\bar{n}$ ← معامل انكسار المادة النشطة Active

الدرجة 5A

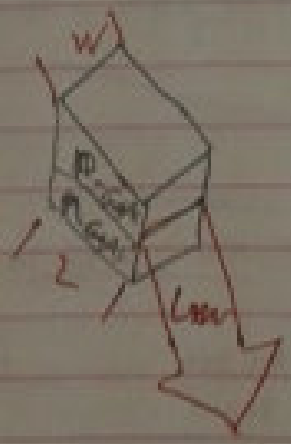
طول موجة واحد بعد التكبير $\frac{1}{2}\Delta\lambda$

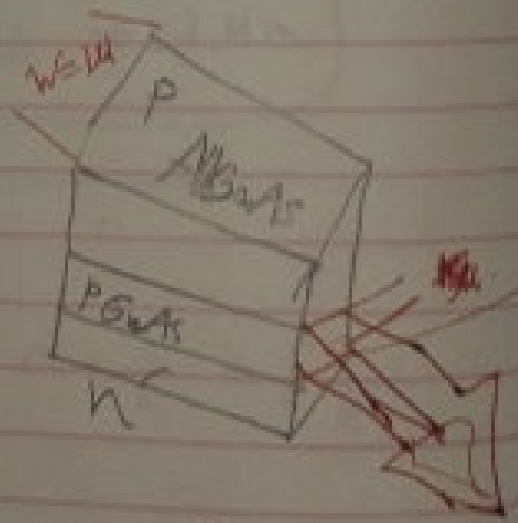
$$\Delta\lambda = \frac{\lambda^2}{2\bar{n}L}$$ Mode Spacing

أقل مسافة يمكن رؤيتها عند تقسيم الليزر الأكثر طبقة

Basic Laser Structure

① Homo Junction ② Double Hetero Junction DH





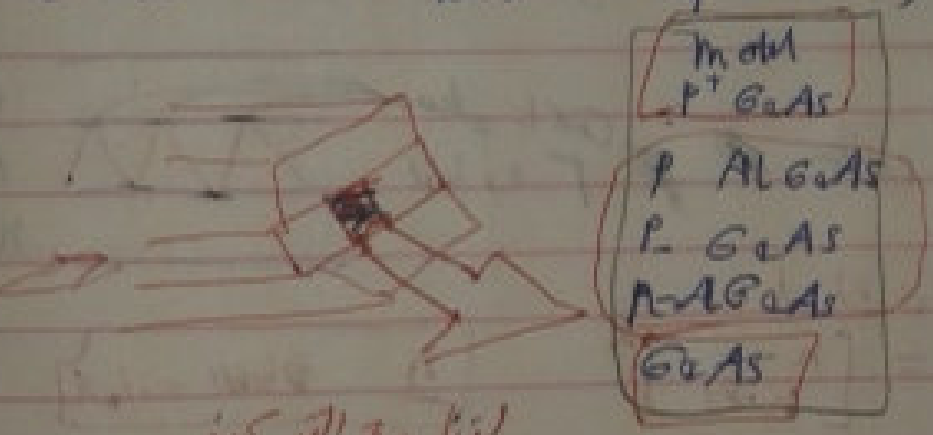
غير جيد كثيراً

التاريخ / /

الموضوع :

DH

② Double Hetero with STRy Geometry



لزيادة التركيز

كبير في التصنيع صعب التكلفة عالية

① High power
② operating current ↓ التيار الذي يعمل
③ Emission precise

موضوع:

التاريخ / /

Threshold Current density & الكثافة التيارية عند لوزر / التيار التحذيري

minimum current density required to produce laser Beam

$J_{th} = f(T)$

Laser Gain = f (Nominal current density) كثافة التيار

$J_{nominal}$ → current density to uniformly excite 1μm thick active laser

Active layer at 1 μm في التيار اللازمة لإثارة

Actual current density = $\frac{J_{nominal}}{\eta}$ كفاءة

if $\eta = 1$

$t_{hick} = 1\,\mu m$

Threshold Gain :

$Gain = \frac{output}{input} = g = \alpha + \frac{1}{L} \ln\left[\frac{1}{R}\right]$

الموضوع:

التاريخ / /

$$J_{th} = \exp\left(\frac{T}{T_o}\right)$$ ← Temperature ← Temperature

---

Tie Links

$$\frac{J_{th}}{2J_{th}} = \frac{\exp(T/T_1)}{\exp(T/T_o)} = \frac{\exp(27/110)}{\exp(T/110)}$$

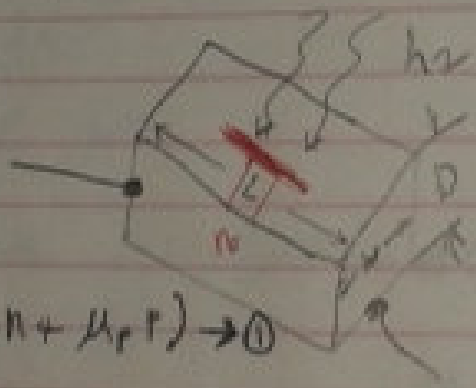
$\boxed{T = 103^\circ C}$

ع مولات زيادة في الحرارة
لصناعة التيار الضوئي

---

photo Conductors

Dark R↑
Light R↓



Light

$$\uparrow \sigma = q(\mu_n n + \mu_p p) \rightarrow (1)$$

$$\lambda_c = \frac{1.24}{E_g} \ \mu m$$

$$n = \frac{n_o}{\text{Initial}} \exp^{(-t/\tau)}$$ ← الزمن

Generation
Recombination

$$\left|\frac{dn}{dt}\right| = \frac{1}{\tau} n_o \exp[-t/\tau] = \frac{n}{\tau}$$

$n = \frac{P_{opt}}{h\nu}$

$$G = \frac{n}{\tau} = \frac{\eta (P_{opt}/h\nu)}{WLD}$$ carrier generation / unit vol

(4)

η Quantum efficient

$$I_p = G\, e\, W D = q n v_d W D$$

I_p التيار الناشئ من الضوء والمار من خلال الدائرة

$$v_d = \mu_n E$$

$$I_p = q \left[\frac{\eta (P_{op}/h\nu)\tau}{WLD} \right] \mu_n E W D$$

$$I_p = \left[\eta \frac{P_{op}}{h\nu} \right] \left[\frac{\mu_n E \tau}{L} \right]$$

$$I_{photon} = \eta \frac{P_{op}}{h\nu}$$

$$I_p = I_{ph}\left[\frac{\mu_n \varepsilon \tau}{L}\right]$$

$$G_{un} = \frac{I_L}{I_{ph}} = \frac{\mu_n \varepsilon \tau}{L} = \frac{\tau}{t_r} \rightarrow \text{Transit time}$$

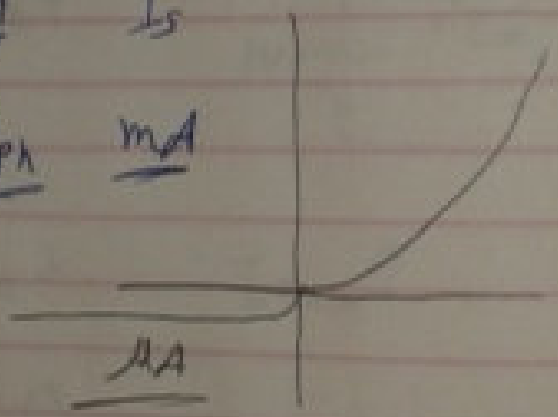
$$t_r = \frac{L}{\mu_n \varepsilon} = \frac{L}{v_n}$$

Photo Diode

Reverse Bias

DARK μA I_S

Light I_{PA} $m A$



Depletion region ↓

to reduce transit time

Par let region ↑

to Increase Active region

Quantum $\eta = \left[\frac{I_p}{q}\right]\left[\frac{P_{in}}{h\nu}\right]^{-1}$

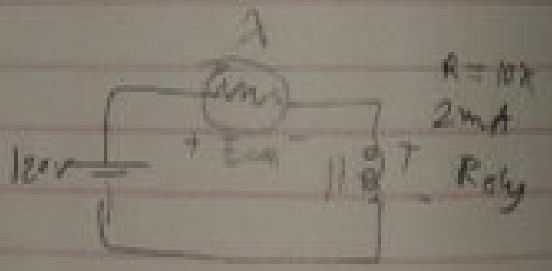
Response Speed —

① Diffusion
② Drift
③ Capacitance of depletion region

$$\downarrow C = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon_r A}{d \uparrow}$$

Short

①



Dark $R_{CH} \uparrow$

$I_{reg} \downarrow$

Light $R_{CH} \downarrow$ $I_{Relay} \uparrow$

$R_{open} = 12\ M\Omega$

$R_{short} = 0$

$I_{dark} = \frac{12}{12M + 10k} \cong 10\ \mu A$

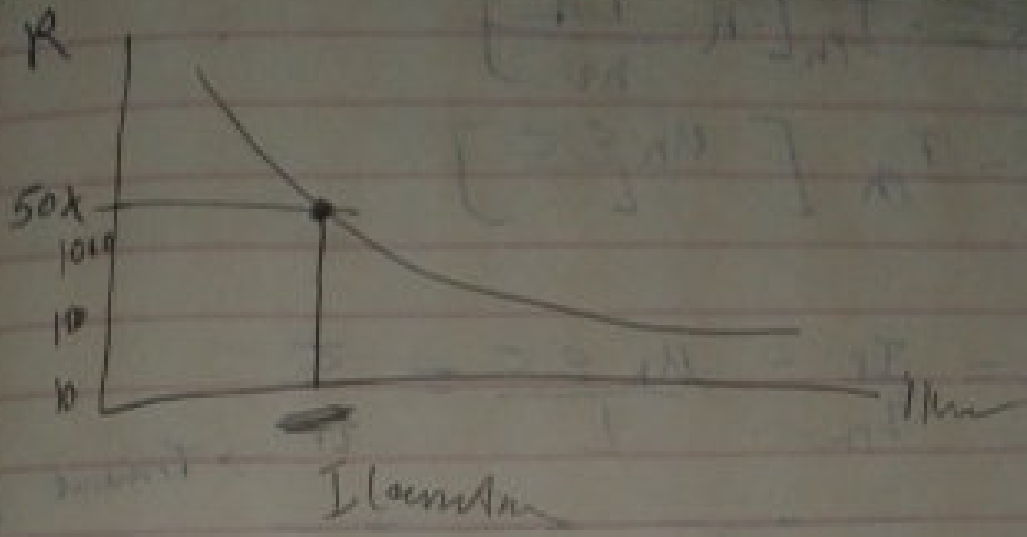
$2mA = \frac{12}{R_{th} + 10k}$

$R + 10k = \frac{12}{2m} = 6k$

$R_{th} = 50k\Omega$

الموضوع :

التاريخ / /



الموضوع :